

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

USP 5,686,728

特開平10-90602

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月10日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

G 0 2 B 17/06

G 0 2 B 17/06

13/18

13/18

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号

特願平9-113727

(22) 出願日

平成9年(1997) 5月1日

(31) 優先権主張番号

6 4 9 9 5 7

(32) 優先日

1996年5月1日

(33) 優先権主張国

米国 (U S)

(71) 出願人 596077259

ルーセント テクノロジーズ インコーポ  
レイテッド

Lucent Technologies  
Inc.

アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ  
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー  
600-700

(72) 発明者 デヴィッド ロス シェイファー

アメリカ合衆国, 06438 コネチカット,  
フェアフィールド, ドレイク レイン 56

(74) 代理人 弁理士 三俣 弘文

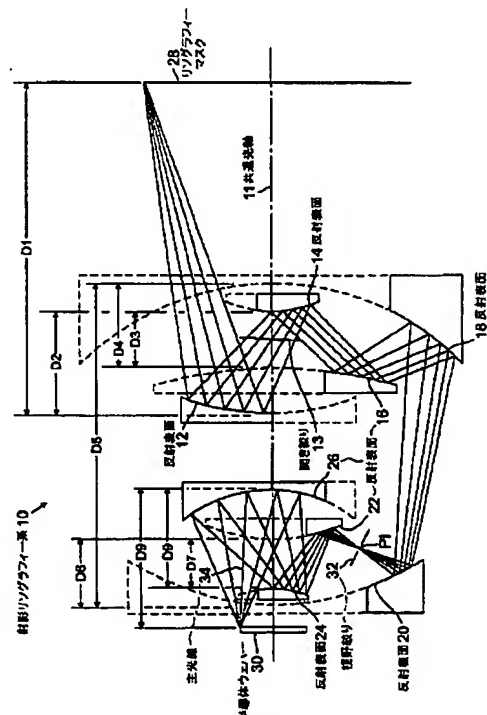
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 射影リソグラフィ光学系

(57) 【要約】

【課題】軟X線等よりも長い波長で動作し、全反射光学デザインを用いたリソグラフィ射影系において、反射表面の数に厳しい制限がなく、利用可能なレーザー光源で、かつ、新型でない反射表面を用いる。

【解決手段】スペクトルの深紫外領域から真空紫外領域の間で動作し、全反射光学配置を用いて、半導体ウェハ上へリソグラフィマスクの縮小像を射影する射影リソグラフィ系である。この全反射光学配置は、6~8の反射表面を有し、各反射表面は非球面である。この反射表面は、共通光軸に沿って配置され、光がリソグラフィマスクから半導体ウェハへ進む際に光の経路と干渉しないように配置される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 射影リソグラフィーにおいて用いる光学系であって、リソグラフィーマスク(28)からの像が露出波長を用いて半導体ウェハー(30)上に射影され、

a) 前記リソグラフィーマスク(28)と前記半導体ウェハー(30)の間に配置された少なくとも6個の反射表面(12~26)を有し、

この各反射表面は、非球面であることを特徴とする光学系。

【請求項2】 前記各反射表面は、前記露出波長の光線を少なくとも90%の効率で反射することを特徴とする請求項1記載の光学系。

【請求項3】 前記露出波長は、100nmよりも大きいことを特徴とする請求項1記載の光学系。

【請求項4】 前記少なくとも6個の反射表面(12~26)は、前記半導体ウェハー(30)の前の最終反射表面(26)と、及び最終から2番目の反射表面(24)とを有し、前記最終反射表面(26)は、凹表面であり、前記最終から2番目の反射表面(24)は、より小さい凸表面であることを特徴とする請求項1記載の光学系。

【請求項5】 前記反射表面(12~26)は、前記露出波長の光線が前記より小さい凸表面(24)上に当たる前の点において像共役を作ることを特徴とする請求項4記載の光学系。

【請求項6】 前記凹表面(26)は、前記半導体ウェハー(30)とテレセントリックに位置を決められることを特徴とする請求項4記載の光学系。

【請求項7】 前記凹表面(26)及び前記より小さい凸表面(24)は、軸外カセグレンリレーを形成することを特徴とする請求項4記載の光学系。

【請求項8】 前記少なくとも6個の反射表面(12~26)は、第1亜系、第2亜系、及び第3亜系を有し、これら各亜系は、凹反射表面及び凸反射表面を有することを特徴とする請求項1記載の光学系。

【請求項9】 前記少なくとも6個の反射表面(12~26)のそれぞれは、共通光軸(11)に沿って配置されることを特徴とする請求項1記載の光学系。

【請求項10】 前記露出波長の光線は、リソグラフィーマスク(28)から半導体ウェハー(30)へ光学経路に沿って移動し、前記反射表面(12~26)は、この光学経路と干渉しないように位置することを特徴とする請求項1記載の光学系。

【請求項11】 前記露出波長は、126nm、146nm、157nm、172nm、及び193nmからなる群より選択されることを特徴とする請求項1記載の光学系。

【請求項12】 前記少なくとも6個の反射表面(12~26)は、8個の反射表面を有するように構成される

ことを特徴とする請求項1記載の光学系。

【請求項13】 b) 前記像共役に直接配置された視野絞り(32)を更に有することを特徴とする請求項5記載の光学系。

【請求項14】 前記少なくとも6個の反射表面(12~26)は、第1反射表面(12)及び第2反射表面(14)を有し、前記光学系は、

c) 前記第1反射表面(12)と前記第2反射表面(14)の間に配置された開き絞り(13)を更に有することを特徴とする請求項1記載の光学系。

【請求項15】 露出波長を用いて半導体ウェハー(30)上にリソグラフィーマスク(28)の縮小像を射影する方法であって、

a) 前記リソグラフィーマスク(28)と前記半導体ウェハー(30)の間に少なくとも6個の非球面反射表面(12~26)を配置するステップと、

前記少なくとも6個の非球面反射表面(12~26)のそれぞれは、前記露出波長の光線を反射することができ、

b) 前記少なくとも6個の非球面反射表面(12~26)から前記露出波長の光線を反射するステップとを有し、

前記非球面反射表面(12~26)は、前記半導体ウェハー(30)上に前記縮小像を作ることを特徴とする射影方法。

【請求項16】 前記少なくとも6個の非球面反射表面(12~26)のそれぞれは、少なくとも80%の効率で前記露出波長の光線を反射することを特徴とする請求項15記載の射影方法。

【請求項17】 前記少なくとも6個の非球面反射表面(12~26)は、前記半導体ウェハー(30)の前の最終反射表面(26)と、及び最終から2番目の反射表面(24)とを有し、前記非球面反射表面(12~26)は、前記最終から2番目の反射表面(24)の前に像共役を作るように配置されることを特徴とする請求項15記載の射影方法。

【請求項18】 c) 前記像共役において視野絞り(32)を用意するステップを更に有することを特徴とする請求項17記載の射影方法。

【請求項19】 前記露出波長の光線をは、深紫外線と真空紫外線の間に属することを特徴とする請求項15記載の射影方法。

【請求項20】 前記最終反射表面(26)は、凹表面であり、前記最終から2番目の反射表面(24)は、より小さい凸表面であることを特徴とする請求項17記載の射影方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、集積回路のリソグラフィパターンニングの射影リソグラフィ系及び方法

に関し、特に、全反射光学配置を用いる射影リソグラフィー系及び方法に関する。

【0002】

【従来の技術】VLSI産業においては、半導体チップの製造で使用される典型的な射影リソグラフィー系は、レジスト被膜半導体ウェハ上へ像を射影する縮小カメラを用いる。そのプロジェクトパターンは、レジストが現像されるときに半導体ウェハ上へ転写される。半導体メーカーは、半導体設計が進むにつれ、より広い面積の半導体ウェハ上に最良の構成要素を形成しなくてはならないという問題に直面する。この半導体ウェハの大きくなる面積上の良い構成要素の形成は、製造上の目標と対立する。また、この半導体ウェハの益々良い構成要素の形成は、リソグラフィーパターンニング時に、より短い波長の光を使用することによって通常なされる。結果として、射影リソグラフィー系は、大きな開口数を有する射影カメラにおいて、青色光、紫外光、深紫外光を現在しばしば使う。しかしながら、このような大きな開口数の射影カメラの利用は、大きな面積の半導体ウェハを現像することを難しくしている。この問題を処理するため、射影カメラの現像野が半導体ウェハ上の所望の野をカバーするように十分に大きくするために射影カメラは大きくなってきた。現代の半導体応用が射影カメラを益々大きくするので、射影カメラの中の光学素子は、シャープな焦点の大きな現像野を維持するために複雑になっている。

【0003】高い分解能を達成する為に、半導体メーカーは、リソグラフィーパターンニング時に、248nm KrFレーザー源及び193nm ArFレーザー源を使用している。このような波長領域においては、唯一シリカ(SiO<sub>2</sub>)レンズを、射影カメラの光学素子に使用することができる。レンズデザインにおいて、一般に、異なる屈折率のレンズ素子が、光学系での様々な収差を減らすために用いられる。しかしながら、1つのガラスのみを利用できるリソグラフィーパターンニング応用の場合において、光学系においてより多くの数のレンズを、同程度の収差補正の得るために光学系を使用しなければならない。1つのガラス種のみを用いた全反射光学系では、レンズは収色的であってはならない。従って、色収差を減らすためには、レーザー光源は、典型的に0.01Åに狭くされる。このようなレーザー光源は、時間がたつにつれてシリカガラス材に損傷を与える。このような損傷したレンズ素子は、射影カメラの最終像を歪ませ、これによって射影カメラとともに機能するリソグラフィーパターンニングにおいて欠陥を作る原因となる。

【0004】ガラスレンズの使用に関する上述のような問題をなくすため、リソグラフィーパターンを作るためにレンズを用いずに反射表面のみを用いるリソグラフィー系が開発されてきた。このようなリソグラフィー系の

従来技術は、ジュエル(Jewell)他に付与された「リングフィールド・リソグラフィー(RINGFIELD LITHOGRAPHY)」と題する米国特許第5,315,629号等々に示されている。このジュエルの特許では、半導体ウェハ上にリソグラフィーパターンを形成するために軟X線源が用いられる。この軟X線源は、多くの反射表面を用いて焦点を合わせられる。しかしながら、リソグラフィーパターンニングでの軟X線の利用は、多くの製造上の制限を生む。この軟X線の使用は、作業者の被爆を防ぐために製造時に特別にしゃへいする必要がある。さらに、リソグラフィーパターンニングに必要な動作特性を有する軟X線源は、高価で容易に商業上入手できない。ジュエルの特許では、軟X線放射は、半導体基板への放射作用の前に、四つの素子を反射する。軟X線を正確に反射することのできる表面は、とても非効率である。従って、デザイン上の問題により、幾つかの反射表面のみしか用いることができていない。軟X線系で用いられる反射表面の数は限界があるので、この系のデザイン上の選択肢もまた限界がある。

【0005】軟X線リソグラフィー射影系の他の欠点として、軟X線を正確に反射するために複雑な皮膜を有する反射表面を用いる点がある。さらに、軟X線放射の短波長、及びリソグラフィー射影系で用いることができる反射表面の数の限界のため、反射表面は従来の製造技術及び装備を用いては達成できない公差に収まるように製造する必要がある。結果として、軟X線リソグラフィー射影系における反射表面の製造は、高価で、労働集約的で、時間を消費してしまう。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】従って、軟X線等よりも長い波長で動作し、全反射光学デザインを用いたリソグラフィー射影系において、利用できる反射表面の数に厳しい制限がなく、商業的に利用可能なレーザー光源で、かつ、新型でない反射表面を用いるものの必要性がある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、スペクトルの深紫外領域から真空紫外領域の間で動作し、全反射光学配置を用いて、半導体ウェハ上へリソグラフィーマスクの縮小像を射影する射影リソグラフィー系である。この全反射光学配置は、6~8の反射表面を有し、各反射表面は非球面である。この反射表面は、共通光軸に沿って配置され、光がリソグラフィーマスクから半導体ウェハへ進む際に光の経路と干渉しないように配置される。

【0008】光学配置の最後の2つの反射表面は、半導体ウェハ上の最終像と共役である中間像を作る軸外カセグレンリレー(Cassegrain relay)を形成する。この軸外カセグレンリレーの存在は、系の残りがより低速な光線ファンで動作できるようにし、これによって収差を減

小させる。さらに、中間像の共役において視野絞りを配置することによって、それた光はバッフルし、系の性能を改善できる。

【0009】

【発明の実施の形態】射影リソグラフィー系では、系の光学配置の分解能は、数式

$$W = K \lambda / NA \quad [1]$$

によって表される。ここで、Wは、作られる最小結像大きさ（ミニマム・フィーチャー・サイズ）、Kは、フォロレジストパラメーターに依存する実験的に定めた定数、 $\lambda$ は現像波長、NAは開口数である。この開口数（NA）は、射影リソグラフィー系の像の許容角度の定量的基準である。この開口数（NA）は、数式

$$NA = N \sin(\theta) \quad [2]$$

によって表される。ここで、Nは、像領域の屈折率、 $\theta$ は、射影リソグラフィー系によって受けられた光線の最大光錐角である。

【0010】本発明の射影リソグラフィー系は、スペクトルの深紫外線と真空紫外線領域の間、即ち約100 nm～300 nmの間の露出波長で最適に動作するように設計される。この周波数域の光を発するレーザー源は、容易に入手可能である。射影リソグラフィー系は、半導体ウェハ上にリソグラフィーマスクを再像化するため、露出波長を用いた6ないし8の反射表面を含む。射影リソグラフィー系内に含まれた反射表面はそれぞれ、用いる露出波長に依存して、90%近く、可能ならば98%の効率の露出波長を反射する。

【0011】例えば、図1に示す射影リソグラフィー系は、8つの鏡、全反射であり、開口数（NA）0.5、露出波長126 nmの5:1縮小イメージング系である。数式[1]から、もしK=0.7ならば、この射影リソグラフィー系は、0.18  $\mu$ mの最小結像のイメージングが可能であることが分かる。K=0.5の応用では、この射影リソグラフィー系は、0.13  $\mu$ mの最小結像のイメージングが可能である。

【0012】図2に示す射影リソグラフィー系は、6つの鏡、全反射、開口数（NA）0.45、露出波長126 nmの5:1縮小イメージング系である。数式[1]から、もしK=0.7ならば、この射影リソグラフィー系は、0.20  $\mu$ mのイメージングが可能であることが分かる。K=0.5の応用では、この射影リソグラフィー系は、0.14  $\mu$ mの最小結像のイメージングが可能である。

【0013】実施例の記述から、鏡の番号、縮小率、露出波長、開口数及び係数Kを変えることができる。2つの実施例において126 nm光源を用いたが、100 nmから300 nmのいくつかのレーザー光源も利用可能である。例えば、選択範囲では低い方である126 nmレーザー光源に加えて、146 nm、157 nm、172 nm及び193 nmの商業的に利用可能なレーザー光

源を用いることができる。

【0014】図1には、第1射影リソグラフィー系10を示してある。この射影リソグラフィー系10は、8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26を有し、これらはリソグラフィーマスク28と半導体ウェハ30の間に配置されている。この8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26は、半導体ウェハ30の点においてマスク像の5:1の縮小を作る。図示した射影リソグラフィー系10は、半導体ウェハ30上の露出野が露出スリットの大きさによって決定される走査系である。この実施例では、露出スリットは、長さ26 mm、幅1 mmである。図示したような走査系では、半導体ウェハ及びリソグラフィーマスク28は同時に走査される。結果として、図示した実施例が5:1露出系であるので、リソグラフィーマスク28は、位置を同期させ、歪んでいない射影像を確実にするために、半導体ウェハ30の5倍の速さで動く。リソグラフィーマスク28と半導体ウェハ30の両方が動くので、射影リソグラフィー系10の多くの光学素子の全ては、リソグラフィーマスク28と半導体ウェハ30の間に完全に含まれていて、走査時にこれらがリソグラフィーマスク28と半導体ウェハ30の必要とする運動を妨げないようにされる。

【0015】この射影リソグラフィー系10の中で、8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26は、光がリソグラフィーマスク28から半導体ウェハ30へ進む際に、これら反射表面のいずれも他のいずれの反射表面から反射された光の経路を妨げないように配置される。さらに、8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26のそれぞれは、わずかに大きめにされる。結果として、8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26のそれぞれに当たる光は、各反射表面の周囲の縁から所定の距離を保つようにされる。従って、8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26は、これら反射表面の縁に正確に光が通るように製造されていなくてもよい。このことは、この8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26の製造上の大きな利点である。

【0016】実施例では、126 nmの露出波長を用いた。8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26はそれぞれ、用いた露出波長に対して高い屈折率である材料で被覆される。現在一般に、波長126 nmに対しての反射表面は、90%近くの効率で正確に反射することができるものが利用可能である。この反射効率は、約60%の効率で反射するような軟X線に対して入手可能なものよりかなり良い。8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26のそれぞれの反射効率が約90%なので、8つの反射表面は容易に、許容レベル以下まで光強度が弱められること

なしに使用できる。少なくとも8つの反射表面を用いることができるので、反射損失のために高々4つの反射表面しか利用可能でない軟X線射影リソグラフィー系のものよりも光学設計の柔軟性が大きい。

【0017】図1の実施例では、8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26は全て非球面である。さらに、8つの反射表面12、14、16、

18、20、22、24、26のそれぞれは、共通光軸11に沿って配置され、これによって、射影リソグラフィー系10の組立が単純になる。各反射表面は、基本となる円錐に、10次の多項式で表現される上張りをかぶせることによって作られた非球面表面を有する。この10次の多項式は、以下の数式によって表現される。

$$Z = \frac{KY^2}{1 + \text{SQRT}[1 - (1 + CC) K^2 Y^2]} + TTT \quad [3]$$

ただし、

$$TTT = (AD) Y^4 + (AE) Y^6 + (AF) Y^8 + (AG) Y^{10}$$

ここで、Zは、Z軸と平行方向の非球面表面の変位、YはZ軸からの半径方向の距離、Kは頭頂点の曲率、CCは円錐定数、AD、AE、AF、AGはそれぞれ4、6、8、10次の変形係数であり、SQRTは、平方根を表す。8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26の光学的基準を以下の第1表、第2表に示す。

【0018】

第1表

【0019】

反射表面	半径 (mm)	距離 (mm)
マスク	—	
		D1= 344.154104
1 2	-273.269561	
		D2=-106.720916
1 4	-203.023499	
		D3= 60.710339
1 6	430.695901	
		D4= -81.278904
1 8	258.733466	
		D5= 329.181973
2 0	-348.127212	
		D6= -68.577112
2 2	-188.079216	
		D7= 57.986517
2 4	189.739940	
		D8=-110.791207
2 6	143.316703	
		D9= 127.791207
ウェハー	—	

第2表

反射	CC	AD	AE	AF	AG
表面					
1 2	8.542838	-4.0539e-08	1.3393e-12	-3.9894e-17	7.0578e-22
1 4	-9.417326	2.2325e-07	-3.9265e-12	1.1335e-15	1.5180e-18
1 6	26.601619	2.1331e-08	-3.4140e-13	9.7797e-18	-7.6575e-23
1 8	-0.059052	-3.9939e-09	-8.4588e-15	-3.9825e-19	-1.5900e-24
2 0	-2.587213	-5.7782e-08	4.8300e-12	-1.5100e-16	2.2061e-21
2 2	-2.731520	1.3914e-07	1.7815e-13	3.4841e-17	4.2656e-20
2 4	6.703040	3.6118e-07	9.3791e-11	-1.2688e-14	7.3010e-18
2 6	-0.151171	-2.6008e-09	-9.6921e-14	-6.5679e-19	-3.7601e-22

【0020】第1表及び第2表のデータから、リソグラフィーマスク28から放射した光は、第1表面12へ距離D1移動することが分かる。第1反射表面12は凹面であり、第2反射表面14に光を送る。開き絞り13は、第1反射表面12と第2反射表面14の間に配置する。第2反射表面14と第3反射表面16の間にも開き絞り13は置くことができるが、開き絞り13の位置は、第1反射表面12と第2反射表面14の間である方が好ましい。この位置が好ましいのは、開き絞り13が占める空間を反射表面又は光路が干渉しないので開き絞り13は完全にアクセス可能となるからである。

【0021】開き絞り13を光が通過した後、光は第2反射表面14に当たる。この第2反射表面14は、凸面であり、光を第3反射表面16に向ける。この第3反射表面16は凸面であり、光を第4反射表面18に向ける。この第4反射表面18は凹面であり、光を第5反射表面20に向ける。この第5反射表面20は凹面であり、光を第6反射表面22に向ける。第5反射表面20と第6反射表面22の間の点P1において、比較的鋭い中間焦点を作る。点P1に随意に視野絞り32を直接配置し、逸脱した光や散乱光線から全光学設計を保護するバッフルを作ることができる。第6反射表面22は、凸面であり、光を第7反射表面24へ向ける。この第7反射表面24は、凸面であり、光を第8反射表面26に向

ける。最後に、この第8反射表面26は凹面であり、半導体ウェハ30上に光を向ける。これら多くの反射表面は、第8反射表面26から半導体ウェハ30上に当たる光がテレセントリックであるように配置される。結果として、第8反射表面26から反射した扇状の光線群の中の中央光線、即ち主光線34は、半導体ウェハ30の面と垂直になる。これは、半導体ウェハ上の露出野にわたっての鋭い焦点を可能にする。

【0022】図1から、8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26は、4つの亜系（サブシステム）により構成していることが分かる。半導体ウェハ30から戻って考えると、第8反射表面26及び第7反射表面24は軸外カセグレンリレー亜系を作る。第8反射表面26の大きな凹面は、第7反射表面24の小さな凸面と共に機能して、これら反射表面24、26が光路を干渉しないにもかかわらず、複数の因子によって光線円錐の速さを変えるような亜系を作る。第7、8反射表面24、26のカセグレンリレー亜系は、このように、射影リソグラフィ系10の残りがかなり遅い扇状光線で動作することを可能にして、これは、収差を減らし、反射表面が光路を干渉しないように設計することを容易にする。第7、8反射表面24、26のカセグレンリレー亜系はまた、8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26によって占め

られる領域を離れた点において半導体ウェハ30の焦点を位置させることにも機能する。これらのため、半導体ウェハ30の直前の大きな凹反射表面及びこれよりもかなり小さい凸反射表面のカセグレンリレー亜系は、6、7、8の反射表面を有するか否かに関わらず、本発明の全ての実施例において共通する特徴である。

【0023】図示した実施例では、第7、8反射表面24、26のカセグレンリレー亜系は、半導体ウェハ30上の最終像と共役である点P1において中間像をつくる。この点P1における中間像の近くには、野鏡として機能する第5、6反射表面20、22が位置する。この点P1における中間像は、第5、6反射表面20、22の前、間、又はその後ろに位置させることができるが、この第5、6反射表面20、22の間に配置するのが好ましい。6又は7個のいずれかの反射表面を有する射影リソグラフィー系の代替実施例においては、これら野鏡の一方又は双方が、全体設計から除去される。このような代替実施例においては、野鏡の光学効果は残りの反射表面によって実現される。

【0024】第3、4反射表面16、18および第1、2反射表面12、14もまた、軸外カセグレンリレー亜系を作る。各亜系には、大きな凹反射面、即ち第1反射表面12と第4反射表面18、及びより小さい凸反射面、即ち第2反射表面14と第3反射表面16がある。本発明の射影リソグラフィー系10の好ましい実施例のそれぞれは、少なくとも3つの軸外カセグレンリレー亜系を有し、各亜系は、大きな反射凹表面と小さな反射凸表面を有する。これら軸外カセグレンリレー亜系は、6、7又は8つのいずれかの反射表面を有する射影リソグラフィー系を作るようにいくつかの鏡を組み合わされる。

【0025】前述のように、実施例に用いた各8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26は、非球面である。各反射表面は、基本となる円錐に10次多項式の上張りを加えたものとして表現できる非球面の表面を有する。示した実施例では、いかなる反射表面の最悪の非球面の逸脱は、 $+/-75\mu$ よりも下である。従って、これら反射表面は、伝統的な射影リソグラフィー系にて用いられるレンズよりも約4倍の耐性を持つ。さらに、伝統的な射影リソグラフィー系では、少なくとも20のレンズ素子を有する。本発明の射影リソグラフィー系においては、6ないし8個の反射表面のみを有する。従って、本発明の射影リソグラフィー系の全体の耐性は、レンズを含む伝統的な射影リソグラフィー系よりも厳しくない。

【0026】約90%以上の反射効率を有する8つの反射表面12、14、16、18、20、22、24、26を有する光学系を用いることによって、元の光強度の少なくとも43%が半導体ウェハ30において受けられる。これは、60%の反射効率の反射表面をただ4個

のみを用いた軟X線射影リソグラフィーシステムの強度と比べて2.5倍以上である。

【0027】図2には、本発明に従った第2射影リソグラフィー系100を示す。この射影リソグラフィー系100は、リソグラフィーマスク28と半導体ウェハ30の間に配置された6つの反射表面102、104、106、108、110、112を有する。この6つの反射表面102、104、106、108、110、112は、半導体ウェハ30の点においてマスク像の5:1の縮小像を作る。この実施例では、露出スリットは、長さ26mmで、幅1mmである。

【0028】この射影リソグラフィー系100の中では、6つの反射表面102、104、106、108、110、112は、光がリソグラフィーマスク28から半導体ウェハ30へ進む際に、これら反射表面いずれも他のいずれの反射表面から反射された光の経路を妨げないように配置される。さらに、第1実施例と同様に、6つの反射表面102、104、106、108、110、112のそれぞれは、わずかに大きめにされる。結果として、6つの反射表面102、104、106、108、110、112のそれぞれに当たる光は、各反射表面の周囲の縁から所定の距離を保つようにされる。

【0029】実施例では、126nmの露出波長を用いた。各反射表面102、104、106、108、110、112は、用いた露出波長に対して反射能が高くなる物質により被覆される。図示した実施例は、6つの反射表面102、104、106、108、110、112のみを用いるので、これら反射表面は、8つの反射表面を有していた元の実施例の反射表面よりも反射能が高なくてもよい。

【0030】図2の実施例では、6つの反射表面102、104、106、108、110、112は、非球面である。さらに、6つの反射表面102、104、106、108、110、112のそれぞれは、共通光軸114に沿って配置され、これによって、射影リソグラフィー系100の組立が単純になる。各反射表面は、基本となる円錐に、数式[3]で表されるような10次の多項式で表現される上張りをかぶせることによって作られた非球面表面を有する。6つの反射表面102、104、106、108、110、112の光学的基準を以下の第3表、第4表に示す。

【0031】



第3表

反射表面	半径 (mm)	距離 (mm)
マスク	—	
		D1= 290.028067
102	6.3140e+03	
		D2=-201.933440
104	422.774076	
		D3= 200.525350
106	126.167764	
		D4=-150.114788
108	256.525897	
		D5= 369.923546
110	284.429100	
		D6=-143.035597
112	180.531843	
		D7= 163.073121
ウェハー	—	

【0032】

第4表

反射 表面	CC	AD	AE	AF	AG
102	--	-8.9629e-10	-7.1299e-14	-1.2802e-18	-2.2608e-23
104	4.873661	6.1512e-09	-9.8208e-14	-1.0495e-19	-14.5677e-24
106	2.601619	1.0831e-07	-2.5184e-12	5.0119e-16	-3.2827e-20
108	-0.003969	-3.0633e-10	-1.7257e-16	-7.3648e-20	-4.6269e-25
110	36.865234	-3.6022e-07	-2.7711e-11	8.7691e-15	-4.7461e-19
112	-0.111369	-9.4424e-10	-1.4367e-14	-1.4326e-19	-8.5571e-24

【0033】第3表及び第4表のデータから、リソグラフィーマスク28から放射した光は、第1表面102へたどることが分かる。第1反射表面102は凸面若しくは平面であり、第2反射表面104に光を送る。開き絞り13は、第1反射表面12と第2反射表面14の間に配置する。開き絞り103を、第1反射表面102と第2反射表面104の間に配置した。この位置が好ましいのは、この位置では、開き絞り103によって占められる空間と、反射表面又は光路が干渉しないので開き絞り103は完全にアクセス可能となるからである。

【0034】光はこの開き絞り103を通過した後、第2反射表面104に当たる。この第2反射表面104は、凹面であり、光を第3反射表面106に向ける。この第3反射表面106は凸面であり、光を第4反射表面108に向ける。この第4反射表面108は凹面であり、光を第5反射表面112に向ける。この第5反射表面110は凸面であり、光を第6反射表面112に向ける。最後に、第6反射表面22は、凹面であり、半導体ウェハ30上に光を向ける。第4反射表面108と第5反射表面112の間の点P2において、比較的鋭い中間焦点を作る。この点P2に随意に視野絞り32を直接配置し、逸脱した光や散乱光線から全光学設計を保護するバッフルを作ることができる。これら多くの反射表面は、第8反射表面26から半導体ウェハ30上に当たる光がテレセントリックであるように配置される。結果として、第8反射表面112から反射した扇状の光線群の中の中央光線、即ち主光線128は、半導体ウェハ30の面と垂直になる。これは、半導体ウェハ上の露出野

にわたっての鋭い焦点を可能にする。

【0035】図2から、6つの反射表面102、104、106、108、110、112は、3つの亜系（サブシステム）により構成していることが分かる。半導体ウェハ30から戻って考えると、第6反射表面112及び第5反射表面110は軸外カセグレンリレー亜系を作る。第6反射表面112の大きな凹面は、第5反射表面110の比較的小きな凸面と共に機能して、これら反射表面110、112が光路を干渉しないにもかかわらず、光線円錐の速さを変えるような亜系を作る。第5、6反射表面110、112のカセグレンリレー亜系は、このように、射影リソグラフィ系100の残りがかなり遅い扇状光線で動作することを可能にして、これは、収差を減らし、反射表面が光路を干渉しないように設計することを容易にする。第5、6反射表面110、112のカセグレンリレー亜系はまた、6つの反射表面102、104、106、108、110、112によって占められる領域を離れた点において半導体ウェハ30の焦点を位置させることにも機能する。

【0036】第3、4反射表面106、108および第1、2反射表面102、104もまた、軸外カセグレンリレー亜系を作る。各亜系には、大きな凸反射面、即ち第1反射表面102と第3反射表面106、及びより大きい凹反射面、即ち第2反射表面104と第4反射表面108がある。

【0037】前述のように、実施例に用いた各6つの反射表面102、104、106、108、110、112は、非球面である。各反射表面は、基本となる円錐に

10次多項式で表される上張りを加えたものとして表現できる非球面の表面を有する。示した実施例では、いかなる反射表面の最悪の非球面の逸脱は、 $\pm 50\text{u}$ よりも下である。

【0038】6つの反射表面102、104、106、108、110、112を有する光学系を用いることによって、仮に各反射表面の反射効率が80%しかなくても、60%の反射効率の反射表面をただ4個のみを用いた軟X線射影リソグラフィーシステムと比べて2倍以上の効率である。

【0039】実施例において、8つの反射表面及び6つの反射表面を有する系を示したが、他の反射表面を有する光学系も可能である。本発明の射影リソグラフィー系は、同等の機能を有する構成素子や回路を用いることによって、変更できる。例えば、露出波長、開口数、反射表面数、半導体ウェハ分解能、露出野、露出スロット大きさ等を変えることができる。

【0040】

【発明の効果】以上述べたように、本発明は、スペクトルの深紫外領域から真空紫外領域の間で動作し、全反射光学配置を用いて、半導体ウェハ上へリソグラフィーマスクの縮小像を射影する射影リソグラフィー系である。この全反射光学配置は、6～8の反射表面を有し、各反射表面は非球面である。この反射表面は、共通光軸に沿って配置され、光がリソグラフィーマスクから半導

体ウェハへ進む際に光の経路と干渉しないように配置される。このようにして、軟X線等よりも長い波長で動作し、全反射光学デザインを用いたリソグラフィー射影系において、利用できる反射表面の数に厳しい制限がなく、商業的に利用可能なレーザー光源で、かつ、新型でない反射表面を用いたものを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

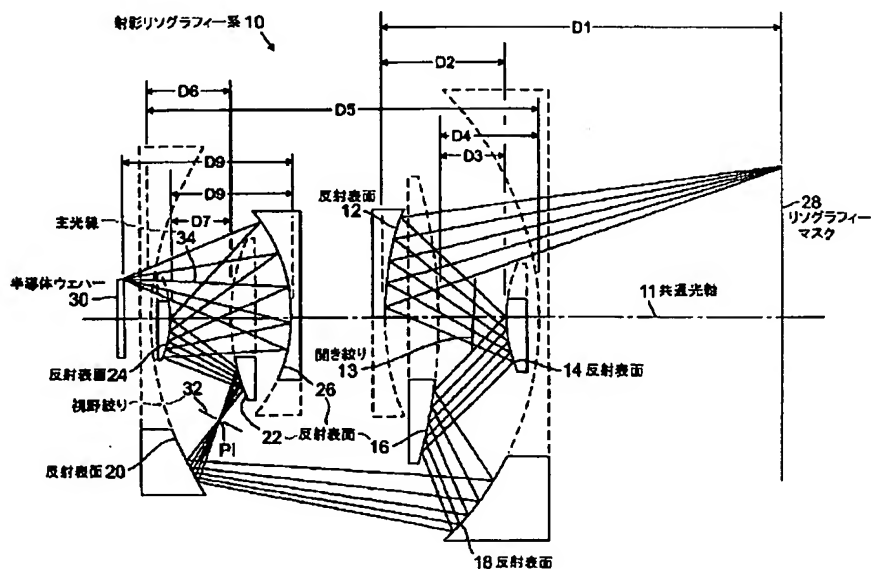
【図1】8つの反射光学素子を有する本発明のリソグラフィー系の第1実施例の断面図である。

【図2】6つの反射光学素子を有する本発明のリソグラフィー系の第2実施例の断面図である。

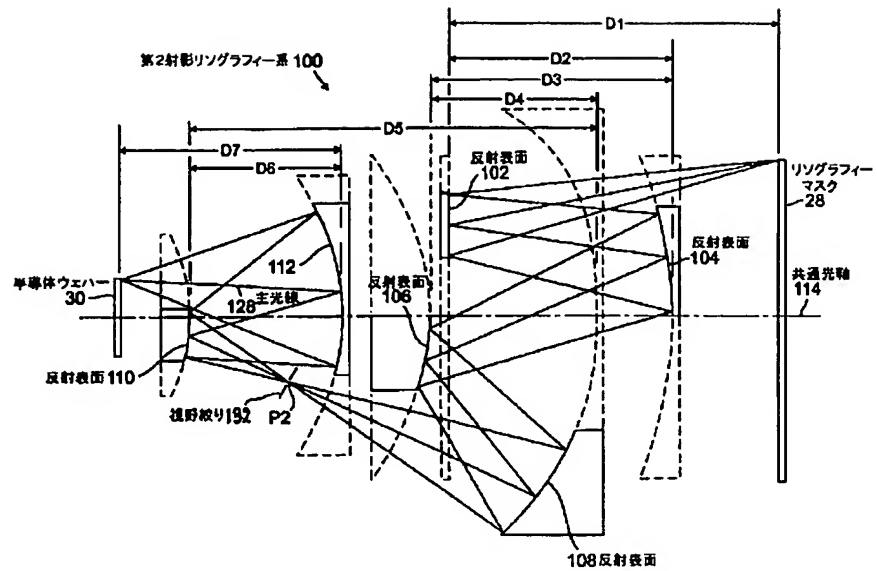
【符号の説明】

- 10 射影リソグラフィー系
- 11 共通光軸
- 13 開き絞り
- 12～26 反射表面
- 28 リソグラフィーマスク
- 30 半導体ウェハ
- 32 視野絞り
- 34 主光線
- 100 第2射影リソグラフィー系
- 102～112 反射表面
- 114 共通光軸
- 128 主光線
- 132 視野絞り

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259  
 600 Mountain Avenue,  
 Murray Hill, New Je  
 rsey 07974-0636 U. S. A.